

П.Н. ОНИШКОВ, вед. инженер ОАО ГСКБ Алмаз-Антей, г. Москва, Россия
Д.В. ОСТРОВСКИЙ, магистр РГСУ, г. Ростов-на-Дону, Россия

К ОЦЕНКЕ КОНТАКТНО-УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОЛЮСНОЙ ЗОНЫ (Сообщение 2)

Обосновывается предположение о возникновении первичных дефектов вблизи границ раздела областей проскальзывания и сцепления и соответствии экстремального характера изменения контактно-усталостной долговечности изменению градиента касательных напряжений при вырождении области сцепления.

Обґрунтовується припущення про виникнення первинних дефектів поблизу кордонів розділу областей прослизання і зчеплення і відповідності екстремального характеру зміни контактно-втомної довговічності зміні градієнту дотичних напружень при виродженні області зчеплення.

Substantiates the hypothesis of the origin of the primary defects near the boundaries of areas and slip and grip under extreme nature of the change of contact-fatigue life changing gradient of shear stress in the degeneration of the field of adhesion.

В предыдущем сообщении [1] было обосновано предположение, что изменение величины касательной нагрузки при постоянной нормальной связано с наличием в пределах мгновенного пятна контакта областей проскальзывания и сцепления. В этом случае процесс разрушения поверхностей логично связывать не только (и не столько) с величиной касательных напряжений трения – достаточно незначительной, но и с концентрацией этих напряжений вблизи границ раздела областей E_+ и E_0 . В экспериментах [2] – пульсирующий контакт "шар-плоскость" – в центральной зоне площадки контакта, где давления максимальны, сохранились следы инструментальной обработки поверхностей. Области разрушения локализовались ближе к периферии площадки, при этом были отмечены следы *оплавления*. В рассматриваемых экспериментах первичные трещины имели охватывающий дуговой характер, согласующийся с ожидаемыми границами раздела областей сцепления и проскальзывания. Кольцевые следы фреттинга в области проскальзывания отмечены в работах [3, 4], причем в работе [4] эти повреждения возникли под действием чисто нормальной нагрузки.

Известно, что скольжение сопряженных поверхностей даже в микрообъемах начинается, лишь пройдя стадию упругого и упруго-пластического смещения. Тогда $\text{grad}\tau$ будет во многом определяться положением границ раздела зон. Пусть в начальном положении область E_0 достаточно велика, как показано на рисунке 3 сообщения 1. Рассмотрим изменение эпюры касательных напряжений при вырождении области сцепления (рисунк 1).

Положительных напряжений при вырождении области сцепления (рисунк 1). В положении 1 границы раздела E_0 и E_+ соответствуют зонам пятна контакта с относительно небольшими удельными нагрузками (как нормальными, так и касательными). Сужение E_0 ведет не только к некоторому увеличению T_Σ , но и к смещению границ раздела в область повышенных давлений, определяя возрастание $\text{grad}\tau$ – положение 2. Однако при дальнейшем возрастании скорости v , область сцепления, вырождаясь, вновь выходит своими границами на периферию пятна контакта, и эффект концентрации касательных напряжений снижается.

Подобное изменение $\text{grad}\tau$ довольно четко соответствует изменению долговечности образцов в интервале изменения коэффициента сопротивления качению "k" от 0,01 до 0,04 (рисунк 1 сообщения 1).

Влияние остаточных деформаций [5] может сказываться двояко – как снижением действующих контактных напряжений вследствие более плотного прилегания контактирующих поверхностей, так и усилением влияния касательных – в результате появления в области контакта знакопеременного проскальзывания. Для трех уровней нормальной нагрузки P_Σ были получены следующие величины полуосей контактного эллипса – a_n , b_n и остаточной деформации δ (по Пальмгрену):

P_Σ (H)	1190	1670	2340
a_n (мм)	0,382	0,431	0,479
b_n (мм)	0,234	0,263	0,293
δ (мм)	0,015	0,030	0,057

Полученные результаты показывают – вследствие пластической приработки уже после нескольких десятков циклов имеются основания рассматривать контакт как "качение шара по прилегающему желобу". В этом случае область контакта делится на три подобласти (рисунк 2) – центральную, где проскальзывание положительно, и две внешние с отрицательным проскальзыванием. Границами разделения являются линии нулевого проскальзывания y_{so} . Вблизи этих линий направление касательных напряжений меняется на противоположное, что, естественно усиливает эффект их концентрации. Суммарная касательная нагрузка снижается, но имеет место отмеченный рядом авторов "жесткий удар" касательных напряжений в контакте подшипников качения.

В эвольвентных зубчатых передачах переход скорости проскальзывания "через ноль" с изменением направления неизбежен. Локализация первичных контактных повреждений наблюдается несколько ниже полюса на отстоящей поверхности, что качественно согласуется с возможной границей раздела областей E_+ и E_0 . В передачах Новикова имеет место режим стационарного качения с геометрическим проскальзыванием и верчением. Влияние упругих смещений на скорость проскальзывания пренебрежимо мало. Распределение касательных напряжений близко к эллипсоидальному, с некоторым смещением центра по направлению качения (рисунк 3,а).

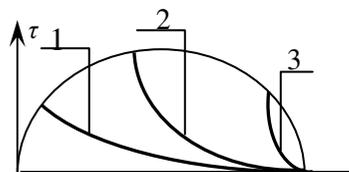


Рисунок 1 – Изменение $\text{grad}\tau$ по мере вырождения области сцепления

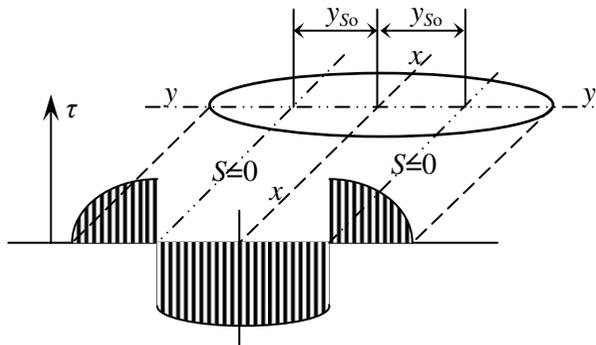


Рисунок 2 – Знакопеременное проскальзывание. Распределение касательных напряжений

раздела областей E_+ и E_0 . В передачах Новикова имеет место режим стационарного качения с геометрическим проскальзыванием и верчением. Влияние упругих смещений на скорость проскальзывания пренебрежимо мало. Распределение касательных напряжений близко к эллипсоидальному, с некоторым смещением центра по направлению качения (рисунок 3,а).

Однако при определенных условиях, как показано в работах [6, 7] в пределах площадки даже теоретически внеполюсного контакта может появиться точка с $v=0$, вокруг которой формируется область сцепления (рисунок 3,б), что резко изменяет характер распределения напряжений, а вектор τ , вследствие наличия верчения, меняет направление (рисунок 4).

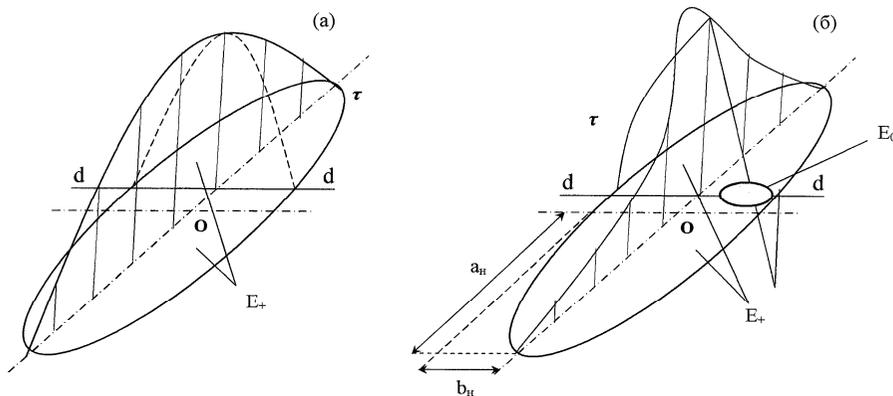


Рисунок 3 – Распределение касательных напряжений по поверхности контакта. Цилиндрическая передача Новикова ДЗП-07-15: $m=3,0$; $z_1=49$; $z_2=51$; $\beta=0,356$ рад; $\omega_1=191,082c^{-1}$; $P=3000H$; $f=0,05$ [6]
(а) – $X_1=X_2=0$; полное проскальзывание.
(б) – $X_1=-0,3$; $X_2=0,3$; проскальзывание и сцепление

В эвольвентных зубчатых передачах переход скорости проскальзывания "через ноль" с изменением направления неизбежен. Локализация первичных контактных повреждений наблюдается несколько ниже полюса на отстающей поверхности, что качественно согласуется с возможной границей

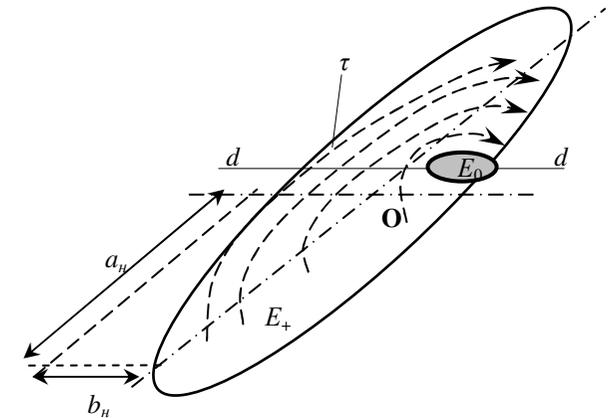


Рисунок 4 – Поле касательных напряжений в передаче Новикова при $X_1=-0,3$; $X_2=0,3$

Показателем того, что "нулевая" точка – точка с нулевым значением относительной скорости проскальзывания – лежит на границе контактного эллипса, является расстояние от полюса до теоретической точки контакта в торцевой плоскости

$$L_{кр} = \cos\alpha \cdot a_n b_n / [b_n^2 \cos^2\beta + a_n^2 \sin^2\alpha]^{-0,5},$$

где α – угол давления в теоретической точке контакта, β – угол наклона линии зуба.

При $L > L_{кр}$ особая точка лежит вне площадки контакта; при $L \leq L_{кр}$ – в пределах площадки.

Разумеется, полученные результаты можно рассматривать как сугубо ориентировочные (хотя бы вследствие известной неэллиптичности площадок контакта в передачах Новикова и малую вероятность отрицательного смещения меньшего из колес зубчатой пары). Однако и они, на наш взгляд, свидетельствуют о целесообразности принципиального исключения зон теоретически чистого качения в условиях силового контакта.

Список литературы: 1. *Онишков П.Н., Островский Д.В.* К оценке контактно-усталостной долговечности полноточной зоны (Сообщение 1) // Вестник НТУ "ХПИ": Сб. науч. трудов. Тем. вып. Тематический выпуск "Проблемы механического привода". – Харьков, 2011. – №28. – С.106-110. 2. *Линегин С.В., Орлов А.В.* Влияние формы пятна контакта и размеров детали на их прочность при качении / Контактные задачи и их инженерные приложения. М.: НИИМаш. 1969. – С.274-284. 3. *Джонсон К.* Механика контактного взаимодействия. М.: Мир, 1989. – 432с. 4. *Tyler J.C., Burton R.A., Ku P.M.* Contact fatigue under an oscillatory normal load // Trans. ASLE. 1963. №6. p.255. 5. *Черменский О.Н.* Учет качества материала в расчетах контактной долговечности деталей машин // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1993. – №3. – С.61-69. 6. *Онишков Н.П., Онишкова В.М.* Определение и оценка тангенциальных усилий в контакте зубьев передач Новикова // ТММ. Респ. Межвед. сб. – №44. – Харьков, 1988. – С.113-119. 7. *Онишков Н.П., Короткин В.И.* К проблеме контактно-усталостной долговечности поверхности упрочненных зубчатых передач Новикова // Вестник РГУПС. – 2007. – №3.